

특 집

|| 최근 프리캐스트 콘크리트의 신기술 ||

일본 건축분야의 프리캐스트 신기술 - New Precast Technologies for Building in Japan -



정광량*
Chung, Kwnag Ryang



권기혁**
Kwon, Ki Hyuk



원요섭***
Won, Yo Sup

1. 서 론

건축공사에서 공사 효율성을 나타내는 생산성 개념은 노동생산성으로서 한국의 건설노동생산성을 외국과 비교하여 보면 일본의 40% 수준이며 미국, 유럽 등 선진국에 비하여도 상대적으로 낮은 노동생산성을 보이고 있다. 노동집약형 산업인 건축공사에서 노동생산성 저하는 건축공사의 전반적인 효율 저하로 이어지기 때문에 PC 등의 공법 활용을 통해 노동생산성을 높이는 것이 매우 중요하다. 일본의 경우 1960년대의 도쿄올림픽에서부터 오사카만국박람회로 이어지는 건설 러쉬와 이에 따른 건설노동자의 부족, 특히 숙련공의 부족에 의해 현장생산의 공장생산화, 현장 노동력의 경감을 목적으로 콘크리트 부재를 PC화하는 공법이 개발되어 왔다. 일본에서의 PC 개발 경향은 크게 3가지 방향으로 정리할 수 있다. 첫 번째로는 하프 PC 등을 이용한 PC 부재 경량화이고, 둘째로는 접합부의 개발을 통한 현장작업 단순화 또는 특수화, 마지막으로 비구조부위인 외장용 PC 개발과 내진보수·보강부재의 개발이다. 따라서 본고에서는 일본 건축분야에서 진행되고 있는 PC 개발 경향을 정리하여 소개함으로써 국내 PC 시장이 나아가 할 방향을 제시하고자 한다.

2. PC 부재 경량화

보·기둥의 주요 구조부재를 공장에서 제작·운반하여 현장에

서 조립하는 과정 중 부재의 중량은 주요한 고려요소이고 중량증가는 PC 공법의 경제성을 좌우하게 된다. 이러한 중량을 감소시키기 위한 방안으로 U자형 하프 PC 보와 외곽 PC 기둥 등의 개발이 활발하게 진행되어 현장에 적용되고 있다. 하프 PC의 개발에 있어서는 경량화와 더불어 운반 시 파손되지 않는 정도의 견고성 확보, 현장 배근, 주근 접합 및 기둥과의 접합방법에 대한 연구가 병행되어야만 한다. 이러한 하프 PC는 일반적으로 슬래브의 시공에 사용되고 있다.

	현장 콘크리트	하프 PC		PC
기둥				
보				
바닥판				
벽체				

그림 1. 하프 PC의 개념도 (현장타설콘크리트 부분)

* 정회원, (주) 동양구조안전기술 대표이사, 공학박사

** 서울시립대학교 건축공학과 부교수

*** 주) 한성 상무

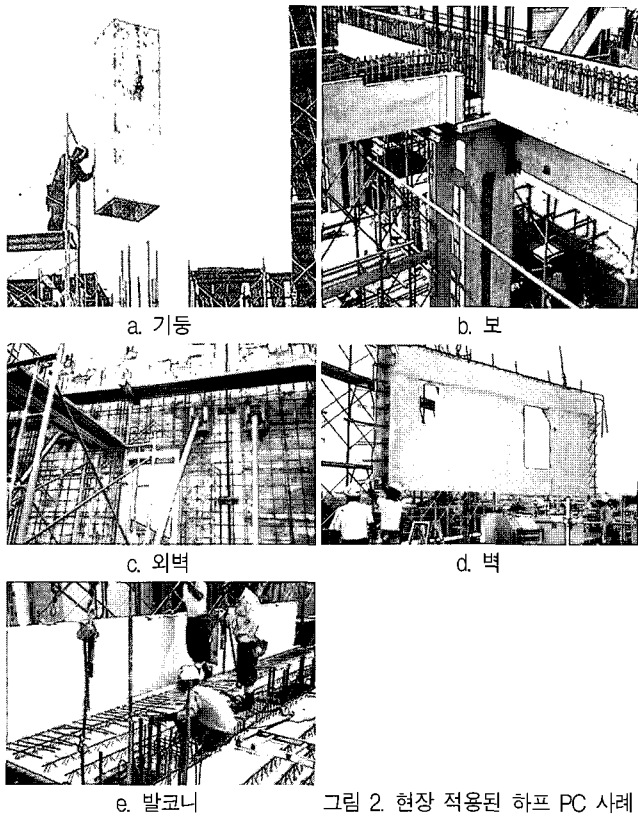
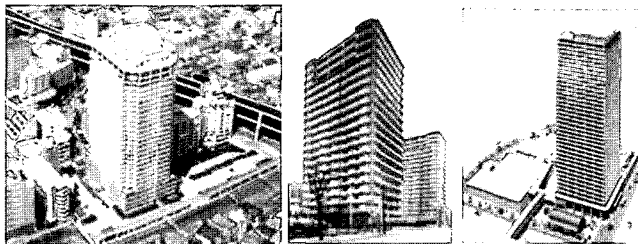


그림 2. 현장 적용된 하프 PC 사례



板橋 주거동 IP파이무 타워 JR 琴似역 주거건물
그림 3. 하프 PC가 적용된 건물

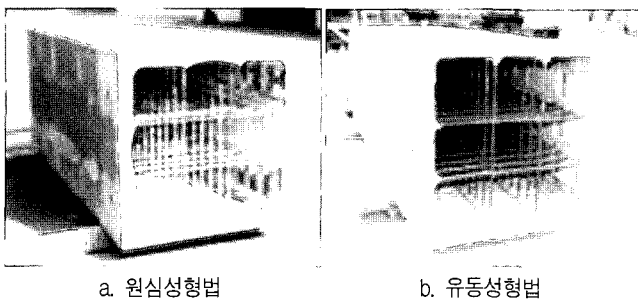


그림 4. 하프 PC 기둥

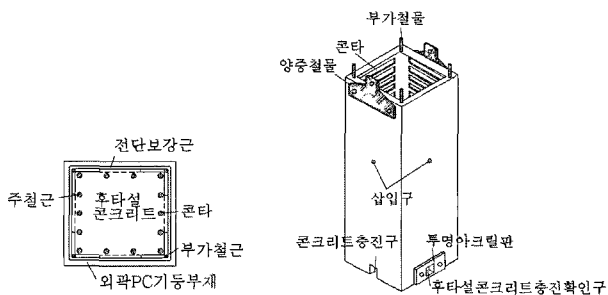


그림 5. 하프 PC 기둥(상품명: 셸 PC 기둥)의 예

2.1 하프 PC 기둥부재

PC 부재의 중량을 줄이기 위한 노력으로 대근을 내장한 형틀 겸용 구조체로서 성능을 갖는 □형 형상의 기둥용 하프 중공단면 PC 기둥(일본제품명: 외곽 PC)을 개발하여 현장에 적용하고 있다. <그림 3>의 건축물들은 하프 PC 기둥과 보를 이용한 건축물로서 현재 사용되거나 시공되고 있는 것이다.

하프 PC 기둥의 제작방식은 원심성형법과 유동성형법으로 나누어진다. 원심성형법은 정밀한 고강도 PC를 제작할 수 있는 반면에, 유동성형법은 단면형태가 자유로우며 제작 장소에 제한되지 않는 특징이 있다. <그림 4>는 각 성형법으로 제작된 하프 PC 기둥이고 <그림 5>는 양중하기 위한 철물 등을 함께 제작한 하프 PC 기둥(상품명: 셸 PC 기둥)의 예이다. 이 하프 PC 기둥의 구조성능을 확인하기 위한 실험결과를 <그림 6>에 나타내었으며, 여기서 하프 PC 기둥을 사용한 기둥과 일체형 RC 기둥은 구조성능에서 동등한 성능을 갖고 있음을 알 수 있다. <그림 7>에는 하프 PC기둥과 보의 시공개념을 나타내었다.

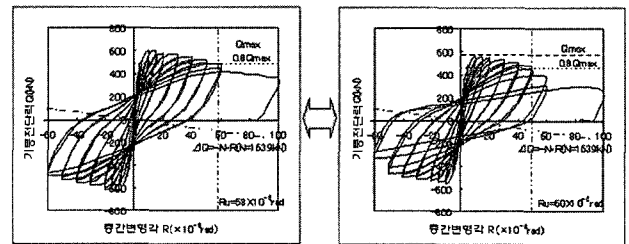
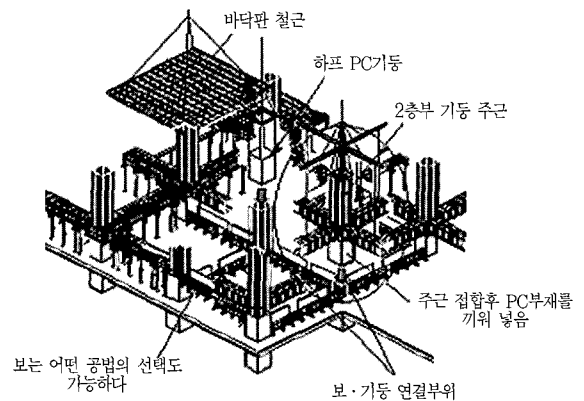


그림 6. 하프 PC기둥의 구조성능 실험결과



△ a. 시공개념도
◁ b. 하프 PC 및 기둥·보 주근 선 조립된 Unit

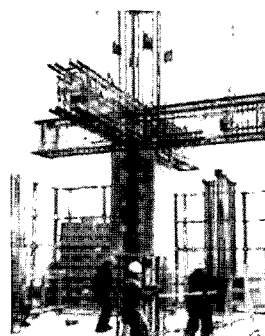


그림 7. 시공 개념 및 사례

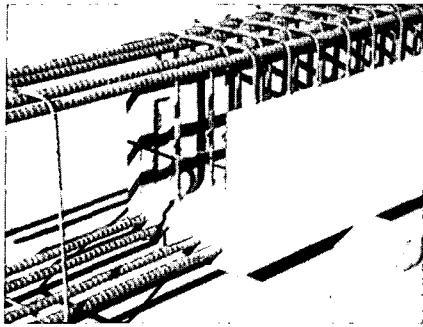
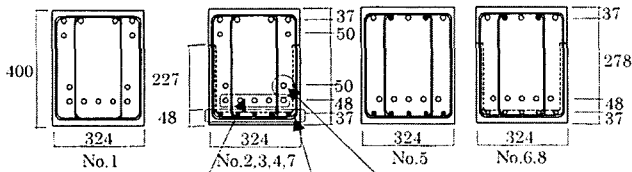


그림 8. U형 하프 PC보



이음근 주근 이단근
그림 9. 시험체 형상 및 배근례

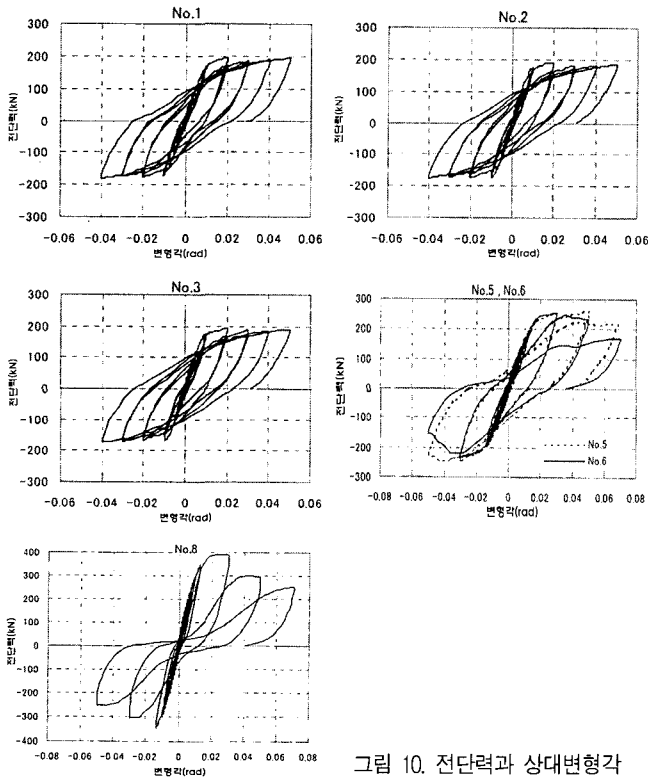


그림 10. 전단력과 상대변형각

2.2 하프 PC 보 부재

PC 공사에 있어서 보의 중량은 공사전체의 경제성뿐만 아니라 공사의 가능성 여부까지 결정할 수 있는 중요한 요소이다. 국내에서도 U형 하프 PC 보에 대한 연구 등이 진행되고 있고, 일본에서는 이미 실용화되어 시공현장에 적용되고 있다. 하프 PC 보는 일반적으로 U자형 PC에 늑근과 주근을 배근하여 생산하고 일체성을 높이기 위해 요철을 두고 있다.

〈그림 8〉은 일반적 U형 하프 PC 보이다. 이 보에 프리스트

레스를 도입하면 장스팬 구조도 가능해진다. 제조방식은 유동식방식이 일반적으로 사용되고 있다. 하프 PC 보를 사용하면 양중하중이 줄어들어 저용량의 크레인으로도 PC 공사가 가능하고 운반에서도 이점을 갖게 되며 형틀이나 지주대가 필요 없어서 시공의 성력화에 크게 기여한다.

하프 PC 보의 구조성능을 검증한 실험결과를 〈그림 9〉와 〈그림 10〉에 정리하였다. 〈그림 10〉의 실험결과에서 하프 PC 보의 구조성능은 이음 방식에 따라 변화되지만 일체식 RC 보와 비교하여 안정되고 우수한 값을 갖는 것을 알 수 있다.

2.3 하프 벽체 PC

고층 집합주택에서 주로 채용되는 벽식 구조에 적용되는 PC 부재로 개념적으로는 하프 PC 기둥과 유사하나 길이가 길고, 폭이 좁으며, 배근이 복잡하여 시공이 용이하지 않는 단점이 있다. 따라서 벽체 전체를 하프 PC화하기보다는 비교적 길이가 짧고 폭이 넓은 벽기둥에 하프를 적용하고 내력벽 자체는 충전된 PC 부재를 사용하는 것이 일반적이다. 국내에서 벽식 PC 공법에 대한 부정적 인식으로 벽식 PC 공법의 적용이 거의 없지만 일본에서는 WP-PC 공법, OHP 공법 등의 상품화된 공법이 6~11층 정도의 주거 건축물에 활발하게 적용되고 있다. WP-PC 공법의 시공순서를 〈그림 11〉에 나타내었다.

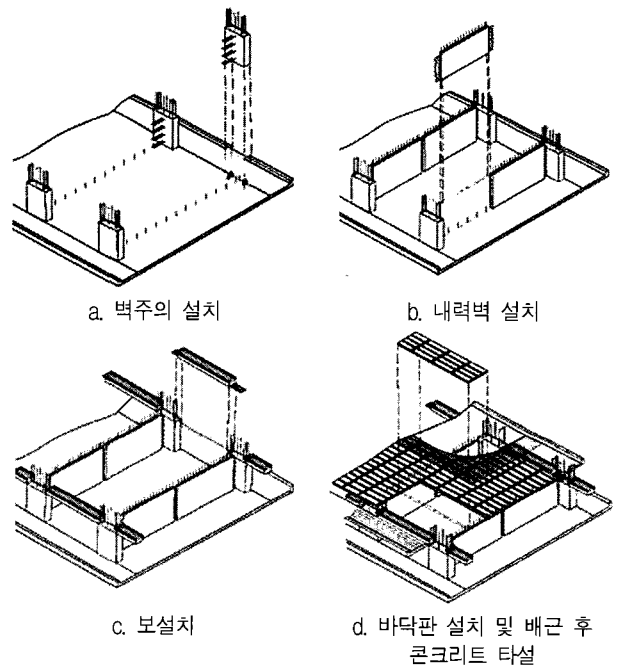


그림 11. WP-PC 공법 시공순서

3. 접합부 개발

PC 건축물은 공장에서 생산된 부재를 현장에서 조립하여 완성된다. 공장생산 시스템은 높은 효율성과 경제성을 유지하고 품질

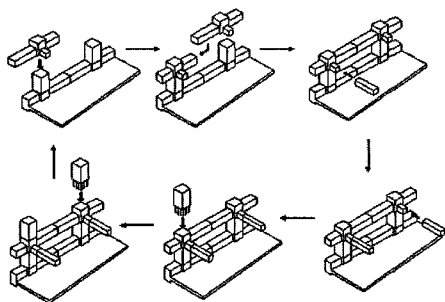


그림 12. 전 PC 공법의 개념도

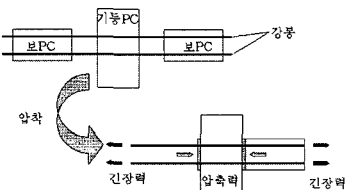
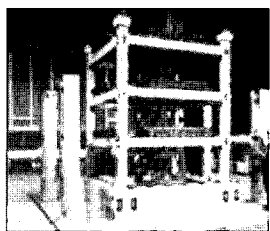


그림 13. 압착공법의 개요

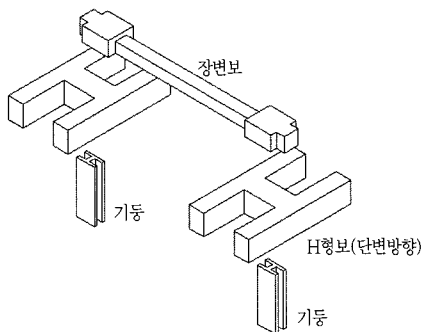


그림 14. PC 부재의 특수화 및 접합방법

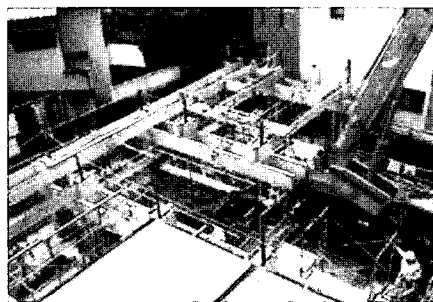


그림 15. 시공 현장

관리도 체계적으로 이루어지지만 현장에서의 조립작업은 기능공의 수준과 현장여건에 따라 공기 및 품질관리의 차가 발생한다. 이러한 불확실성을 감소시키기 위해 현장작업을 최소화, 단순화하려는 노력이 진행되고 있다.

3.1 기동·보등의 주요 구조부의 전 PC 공법

종래의 고층라멘 건축물에 채용되는 PC 공법에서 보와 기등을 각각의 단일부재로 제작한 경우, 보·기등 접합부가 현장타설 부분이 되고 보·기등 접합부가 일체인 PC 부재의 경우는 보의 중앙부가 접합을 위한 현장타설 부분으로 남는다. 이러한 현장타설 부분으로 인해 형틀, 철근 작업 및 콘크리트 양생 기간 확보가

필요하여 공기단축, 경제성의 향상등의 요구에 대응하기 위해 기동·보등의 주요 구조부에 현장타설 콘크리트 시공이 거의 필요 없는 전 PC 공법(all PC method)이 개발되었다.

이 공법의 개념은 전통목조건축에서처럼 이음매를 끼워 맞추는 형식으로 보와 기등을 구축하는 방식이며, 이음매의 상체는 개발회사별 고유기술로 취급되고 있다. PC 부재의 고강도화에 따라 접합부에 고강도 콘크리트를 현장에서 타설·관리하여야만 하는 현실적 제약을 현장작업을 줄임으로써 해결하였기 때문에 초고층 건축물에도 PC 적용 가능성을 열어준 공법이라 할 수 있다.

3.2 PC 압착 공법

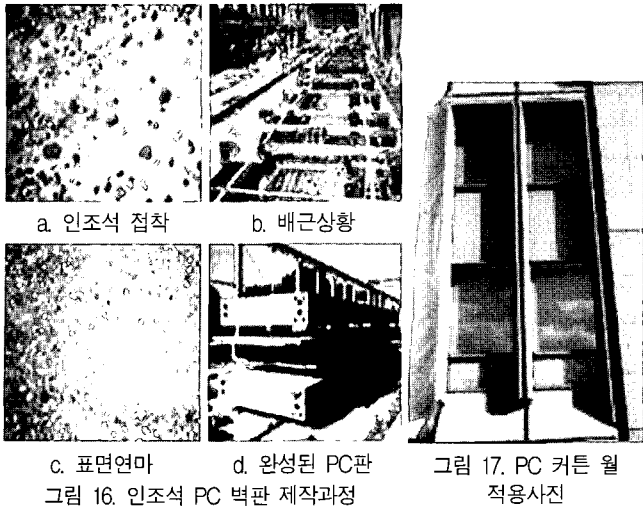
본 공법은 인장력에 약한 콘크리트의 결점을 개선하면서 보·기등을 접합시키는 공법으로 PS 강재에 스트레스를 도입하여 보·기등을 접합하는 방식이다. PS 강재에 강봉과 강선이 사용되며 스트레스의 도입은 현장에서 이루어지는 포스트텐션방식이 된다. 구조체 공사에 대부분의 접합부가 건식으로 시공이 가능하고 내화·방청 등의 공사가 필요 없으면서도 철골구조와 유사한 기등간격을 구현할 수 있어, 대규모 중·저층 항만창고와 물류센터에 적용될 수 있다. 또한 일반 PC에 비해 내진성능이 우수하여 고층 건축물의 시공에 적용될 수도 있다.

PC 압착 공법은 현장 작업량을 크게 줄이지는 못하지만 습식 공사를 건식공사로 전환시키며 구조체의 일체성, 안전성 등이 향상되어 PC 현장에 적용되는 사례가 증가하고 있고 강진지역인 일본에서도 사용될 정도의 내진성능을 인정받는 접합방식이다.

3.3 가접합 철물공사

본 공법은 PC 압착 공법을 개선한 공법으로 PC 구조체를 가접합시키는 가설철물을 고안하여 긴장작업의 유연성을 증가시켜 시공현장에서의 작업 성능을 개선하는 공법으로 협소한 대지에서도 PC 조립을 용이하게 하고, 공기 또한 일반압착공법에 비해 15% 정도 단축시킨다. 프리스트레스 PC 구조에서는 하층부터 순번대로 1층씩 전 평면에 걸쳐 긴장작업을 행하기 때문에 정치식 타워크레인을 설치하고 각층별로 시공 및 긴장작업을 행하는 평면적 시공이 일반적이다. 그러나 이런 시공법은 타워크레인의 능력이 100t·m 정도이고, 대지가 협소할 경우에는 시공 자체가 불가능한 물론 타워크레인의 해체·조립작업 등의 공정이 길어 공기에 영향을 미친다.

본 공법은 이러한 애로점을 개선하기위해 어떤 층에서 긴장작업의 완료이전에 다른 층의 시공이 가능하도록 PC 부재의 경량화 및 특수화하며 가설철물에 의한 가접합을 행함으로써 이동식 크레인의 사용과 입체적 긴장작업의 도입이 가능하도록 하는 공법이다. <그림 14, 15>는 PC 부재의 특수화 및 접합방법과 시공현장을 보여준다.



4. 외장 및 보강 부재의 PC화

특히 외장 재료로서의 PC 부재 적용은 유지관리 측면에서 유리한 면이 있어 최근 관심을 끄는 분야가 되고 있다. 이전에는 PC 부재의 중량, 백화·균열 발생 등이 재료적 약점이 강조되어 외장재 PC의 개발이 미미하였으나, 생산기술과 재료의 발전으로 인해 외장재 PC 및 외장·구조재의 역할을 동시에 하는 부재들이 개발되고 있다.

국내에서는 아직 활성화되지 않은 내진보강분야에 있어서도 강제 브레이스를 대체하기 위한 여러 보강 부재들이 개발 생산되어지고 있다.

4.1 인조석 PC 벽판

PC 벽판을 제작하면서 PC 벽판 자체가 외장재로 사용하기 위해 벽판표면에 인조석을 접착한 후 연마하여 벽판을 완성하는 방식으로 추가적 외장재를 시공할 필요가 없는 PC 벽판을 개발하여 일본 후쿠이시 「月見の 里學遊館」에 적용되었다. 이 건물에 사용된 벽판의 수는 108매로 8.78m×2.0m의 기둥·보가 일체화 된 판넬로 기둥에 시스판을 매설하여 현장에서 PC 강봉에 의한 프리스트레스를 도입하여 압착하는 방식으로 시공됐다.

벽판 표면에 인조석을 접착하기 위한 방법은 수 차례에 걸친 다양한 방식이 연구되었고, 최종적으로는 양면테이프와 합성고무 계에멜론 접착제를 콘크리트 표면에 도포한 후 인조석을 붙이는 방법이 사용됐다. 이 벽판의 제작과정은 <그림 16>과 같다.

4.2 PC 커튼 월판

철골조 건축물의 외장재로 주로 사용되는 커튼 월에 PC 판을 적용하기 위해서는 PC 커튼 월판의 경량화가 필요조건이므로 성능 개선된 경량 콘크리트가 사용되어야 한다.

경량 콘크리트의 성능개선을 위해 세라믹 세골재를 사용한 콘크리트에 비닐론 유지로 보강하는 방식을 채택하여 비닐론 유지 보강 경량 콘크리트(VFRC)라는 재료를 개발하고, 이것으로 PC 커튼 월판을 제작하여, 지하 4층 지상 37층의 건축물(마루노우치빌딩)의 시공에 적용하고 있다.

이 PC판은 파이버벤드의 우수한 소재특성에 의해 최소두께 50mm까지 제작이 가능하여 기존의 경량 콘크리트 제품의 두께의 1/2로 감소시킬 뿐 아니라 성형 유연성 또한 확보하고 있다. 하프면서도 강도, 내구성, 내화성능이 우수하며 특히 세라믹골재의 흡수율이 거의 0%이기 때문에 응결동해 저항성 높아서 외장 재료써 우수한 제품으로 평가되고 있다.

4.3 내진 보강용 PC 브레이스

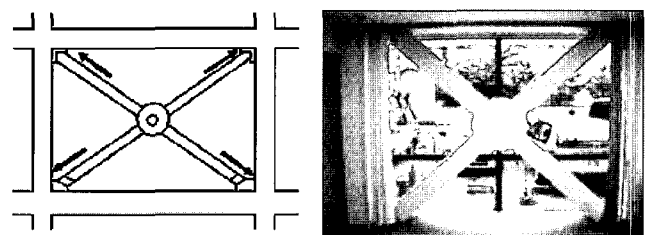
철근 콘크리트 건축물의 벽면 내진 보강에는 내진벽 증타, 철골 브레이스 설치 등의 공법이 일반화되어 있지만 철골 브레이스 공사의 경우는 콘크리트 부재와 철골 부재의 일체성 확보를 위한 앵커공사가 필요하며, 이 공사는 기존 구조체를 손상시킬 뿐 아니라 일체성 확보에도 어려움이 있고 시공 시에 소음·분진이 발생하는 단점이 있다. 이런 약점을 개선하기 위한 PC 부재를 이용한 '자기압착 브레이스 공법'이 개발되었다.

이 공법은 프리스트레스를 이용한 PC 브레이스를 기존 골조에 압착하는 내진공법으로 일본의 15개 사와 교토대학이 공동연구 개발하여 일본 건설성의 건축기술 성능 증명을 얻은 공법이다.

이 공법은 주각부의 반발력을 이용한 2개의 PC재 부재를 기본으로 하여 X자형 브레이스를 구성함으로써 현장공사를 단순화시켰고 소음·분진이 없으며 공기도 단축 된다. 브레이스와 본 구조체의 접합은 공장에 생산된 부품을 주로 사용하기 때문에 앵커에 의한 구조체 손상의 위험성이 없다. 접합부품은 '자기압착 브레이스 연구회'의 연구 성과물으로써 구체적 사항은 알 수 없는 아쉬움이 있다.

4.4 십자형 튜브 시스템

일본의 PC 초고층 건물은 횡력저항시스템으로서 기둥을 5m 이하의 간격으로 배치한 십자형(+) 튜브 시스템을 채용(<그림



a. PC 브레이스 개념 b. 시공사례
그림 18. PC브레이스 압착공법

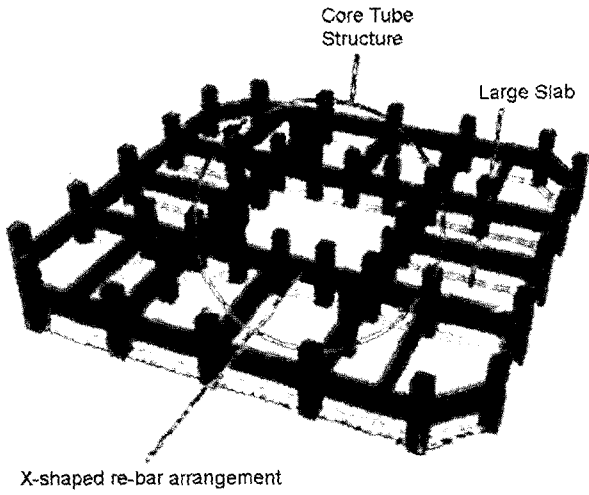


그림 19. 십자형 튜브 시스템

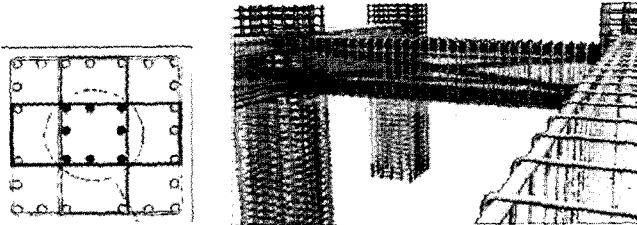


그림 20. 고강도 콘크리트 기둥 배근과 X자형 배근 보

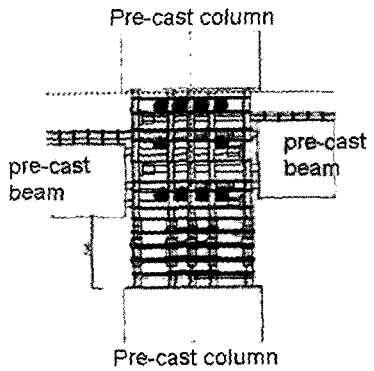


그림 21. 습식 모멘트 접합부

19) 참조)하고 있다. 일반 RC로 시공할 경우 최하층에서 단면적 1.5m×1.5m 이상의 기둥이 필요하지만 고강도 콘크리트로 제작된 PC 부재를 사용하여 부재의 크기를 줄이고 접합부를 습식 공법으로 처리하여 하자의 원인을 제거하는 동시에 X자형 배근을 도입한 보를 적용하여 모멘트 골조를 형성함으로써 전체 건물의

구조 효율성을 높이는 계기를 마련하였다.(〈그림 20〉과 〈그림 21〉 참조)

5. 맺음말

우리나라는 신도시 개발로 건설 붐이 발생한 1980년대 후반 부터 1990년대 초까지 유럽에서 도입된 PC 공법이 벽식 아파트에 매우 활발하게 적용되었으나 현장품질관리 미숙으로 인해 공사 완료 후 접합부에서의 누수 발생을 비롯한 여러 가지 하자가 발생하였으며 이러한 원인에 의해 대형 Panel PC 공법은 거의 사장되었다. 그러나 국내외적으로 지난 20여 년간 PC 접합부에 대해 많은 연구가 이루어져 왔으며 다양한 실험과 연구를 통해 접합부의 성능을 개선하여 인정받은 상태이다. 이전까지는 지진 지역에서는 초고층 건물을 PC로 지을 수 없다는 인식이 지배적이었으나 최근 강진 지역으로 유명한 일본에서 PC 공법을 적용한 초고층 주거 건물이 지어졌으며 이는 PC 접합부의 개발로 가능해진 것이라 할 수 있다.

PC 공법은 소음·분진 등이 적고 대부분의 공정이 건식이기 때문에 도심지 공사에 많이 활용되고 있으나 현재 국내에서의 활용 정도는 높지 않은 실정이다. 그러나 앞서 말한 바와 같이 꾸준한 연구를 통해 접합부의 개선을 이루었으며 최근에는 주요 구조부재 이외에 외장재와 계단 등을 PC화하면서 PC 공법의 활용성이 더욱 증대되고 있다. 일본은 강진 지역이면서도 PC 공법이 활발하게 적용되고 있는데 이러한 일본의 PC 공법의 기술 및 활용 사례를 소개함으로써 국내 건설현장에서 PC공법이 활성화되는데 본고가 기여하였으면 한다. □

참고문헌

1. 西村 외 3인, "U자형 프리캐스트 부재를 이용한 재단전수 접침이음 보부재에 관한 실험연구", 일본건축학회 구조논문집 No.577, 2004. 3. pp.85~91.
2. 건축기술, "Technical View", 2000. 9. ~2004. 5.
3. <http://j2k.naver.com/j2k.php/korean/members.jcom.home.ne.jp/cho-ko-ho/18.htm>
4. <http://www.obayashi.co.jp/>
5. <http://www.infoseek.co.jp/Titles&qt=pc벽판>
6. <http://www.smcon.co.jp/>